

AH

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Off nlegungsschrift
⑩ DE 197 13 623 A 1

⑳ Aktenzeichen: 197 13 623.0
㉔ Anmeldetag: 2. 4. 97
㉕ Offenlegungstag: 1. 10. 98

㉙ Int. Cl.⁶:
G 05 B 19/4069
G 01 B 21/04
A 61 B 17/36
A 61 F 9/013
// G06F 17/50

DE 197 13 623 A 1

⑥⑥ Innere Priorität:

197 12 328. 7 25. 03. 97

⑦① Anmelder:

Technomed Gesellschaft für med. und med.-techn.
Systeme mbH, 52499 Baesweiler, DE

⑦④ Vertreter:

Castell, K., Dipl.-Ing.Univ. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 52355
Düren

⑦② Erfinder:

Wallfeld, Herbert von, 52428 Jülich, DE; Neuhaus,
Thomas, Prof. Dr.med., 80803 München, DE

⑥⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 195 22 915 A1
DE 195 01 069 A1
DE 43 05 842 A1
DE 40 06 949 A1
DE 38 33 715 A1
DE 36 07 721 A1

GEHRING, Georg, MAIDHOF, Armin: Schneller vom
Modell zum Produkt bei Freiformflächen. In: Werk-
statt und Betrieb, 128, 1995, Nr. 11, S.977-982;
Digitale Freiformlehre -ein Werkzeug zum wirt-
schaftlichen Messen und Digitalisieren von Frei-
formflächen. In: fertigung, Januar 1993, S.26-30;
Firmenschrift der Fa. Zeiss, Oberkochen, Meß-
datenqualität in neuer Dimension, 60-20-081-d,
04. Oktober 1994;
Koordinationsmeßtechnik in "Die Bibliothek der
Technik 41", Verlag moderne industrie AG & Co.,
Landsberg/Lech, S.45-51, Abb.44;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zur Bestimmung von Daten zur Behandlung einer Oberfläche, insbesondere einer Augenhornhaut

⑤⑦ Zunächst werden die Orte einer Vielzahl an Punkten der
Oberfläche ermittelt und in einen Rechner eingegeben.
Danach werden die Abstände zwischen den Punkten und
einer ebenfalls eingegebenen Sollfläche vom Rechner be-
rechnet und Ort und Abstand der Vielzahl an Punkten als
Datensatz zur Behandlung der Oberfläche ausgegeben.
Vorteilhaft ist es, wenn das Behandlungsverfahren zuvor
am Rechner simuliert wird.
Dadurch ist es möglich, das optimale Behandlungsver-
fahren auszuwählen und auch regionale Unebenheiten
auf der Augenhornhaut zu eliminieren.

197 13 623 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Daten zur Behandlung einer Oberfläche, insbesondere einer Augenhornhaut.

Bei der Behandlung der Hornhaut eines Auges wird üblicherweise das Brechungsverhalten der Hornhaut ermittelt, um anschließend in den meisten Fällen mit einem Laserverfahren durch Beschuß der Augenhornhaut die Krümmung und damit das Brechungsverhalten der Augenhornhaut zu verändern. Dabei ist es möglich, durch wenige gezielt gesetzte "Schüsse" eine Strukturveränderung der Hornhaut in bestimmten Bereichen zu erreichen oder Teile der Augenhornhaut abzutragen. Insbesondere durch radial unterschiedliche Intensität der Laserbehandlung wird somit das Brechungsverhalten der Hornhautoberfläche verändert.

Es hat sich jedoch herausgestellt, daß die Augenhornhaut über ihre gesamte Fläche meistens nicht ein einheitliches Brechungsverhalten hat und daher die bekannten Verfahren nur bei einem über die Hornhaut verteilten, hinreichend gleichen Brechungsverhalten zu einem guten Ergebnis führen. Kleinere Partien der Augenhornhaut mit besonders hoher oder besonders geringer Krümmung werden mit den bekannten Behandlungsverfahren nicht oder nur unzureichend korrigiert.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bestimmung von Daten zur Behandlung einer Oberfläche, insbesondere einer Augenhornhaut vorzuschlagen, das es erlaubt, durch die Behandlung Orte unterschiedlicher Krümmung auf einer Oberfläche wie beispielsweise einer Augenhornhaut zu reduzieren.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß

- die Orte einer Vielzahl an Punkten der Oberfläche ermittelt werden,
- diese Orte als Datensatz in einen Rechner eingegeben werden,
- die Form und Lage einer Sollfläche in den Rechner eingegeben wird,
- für die Vielzahl an Punkten auf der Oberfläche der Abstand zur Sollfläche errechnet wird und
- Ort und Abstand der Vielzahl an Punkten als Datensatz zur Behandlung der Oberfläche ausgegeben werden.

Dieses erfindungsgemäße Verfahren erlaubt es, die Oberfläche nicht nur pauschal zu behandeln, sondern je nach Auflösung jeden einzelnen Punkt der Augenhornhaut mit seiner Position zu bestimmen, um anschließend durch Vergleich mit einer vorgegebenen Sollfläche den positiven oder negativen Abstand zur Sollfläche zu berechnen und für die eigentliche Behandlung der Oberfläche bereitzustellen. Dadurch können lokale regionale Überhöhungen intensiver behandelt werden, während von Natur aus vorhandene Senken einer geringeren oder gar keiner Behandlung zugeführt werden. Der durch das Verfahren zur Verfügung gestellte Datensatz ermöglicht somit eine gezielte Behandlung auch einer relativ unebenen Augenhornhaut, die durch das anschließende Behandlungsverfahren eine über die gesamte Fläche regelmäßige Krümmung erhalten soll.

Das Verfahren eignet sich vor allem für spiegelnde Oberflächen, da diese mittels der Topometrie leicht vermessen werden können.

Eine einfache Methode zur Bestimmung der Orte der Vielzahl an Punkten der Oberfläche liegt darin, die Orte der Oberfläche der Vielzahl an Punkten topometrisch iterativ als Koordinaten zu berechnen. Eine interaktive Berechnungsme-

spiegelnden Oberfläche ist in der PCT/DE95/01579 beschrieben, auf die vollinhaltlich Bezug genommen wird.

Um die Arbeit dem behandelnden Arzt zu erleichtern, ist es von Vorteil, wenn die Orte der Vielzahl an Punkten graphisch dargestellt werden. Dazu eignet sich beispielsweise eine Netzdarstellung, die deutlich zeigt, wie die Form der Augenhornhaut verläuft oder wie die Form von einer Kugel- fläche abweicht.

Zum besseren Vergleich ist es vorteilhaft, wenn auch die Form und/oder Lage der Sollfläche graphisch dargestellt wird. Hierzu können die gleichen Verfahren verwendet werden, wobei es sich anbietet, die Oberflächen entweder nebeneinander oder in ihrer relativen Anordnung zueinander darzustellen.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß auch die Abstände der Vielzahl an Punkten zur Sollfläche graphisch dargestellt werden. Auch dies kann in dreidimensionalen Darstellungen, Projektions- oder Schnittdarstellungen dem behandelnden Arzt als Graphik zur Verfügung gestellt werden.

Eine besonders einfache Verständlichkeit der Darstellung wird dadurch erreicht, daß unterschiedliche Abstände durch unterschiedliche Farben dargestellt werden.

Dies ermöglicht es dem behandelnden Arzt, ohne einen aufwendigen Zahlenvergleich die Bereiche zu erkennen, die besonders weit von der Sollkurve abweichen.

Vorteilhaft ist es, wenn die Form und/oder Lage der Sollfläche variierbar ist. Dies erlaubt es, die Sollfläche am Computer im Vergleich mit der Oberfläche der Augenhornhaut auf der Grundlage klinischer Erfahrung festzulegen. Die vom Computer sofort errechneten Abweichungen zwischen Sollfläche und Augenhornhaut helfen dem Arzt die Sollfläche richtig zu bestimmen.

Alternativ oder unterstützend zur Bestimmung der Sollfläche nach klinischer Erfahrung kann die Sollfläche auch durch Raytracing bestimmt werden. Dabei wird durch bestimmte Anforderungen an den Strahlenverlauf und insbesondere deren Schnittpunkt mit der Retina eine Sollkurve für die Augenhornhaut berechnet.

Eine Weiterentwicklung der Erfindung sieht vor, daß mit dem Datensatz zur Behandlung der Oberfläche ein Oberflächenbehandlungsverfahren simuliert wird und das Ergebnis angezeigt wird. Dazu werden in den Computer zusätzlich die Daten zu einem speziellen Oberflächenbehandlungsverfahren eingegeben, wonach der Computer das mit diesem Oberflächenbehandlungsverfahren erzielbare Ergebnis dem behandelnden Arzt anzeigt.

Wenn das Oberflächenbehandlungsverfahren bspw. ein Laserverfahren ist, können die Daten der durch einen einzigen Schuß bewirkten Änderung der Gestalt der Hornhaut in den Computer eingegeben werden. Der Computer berechnet dann Ort und Anzahl der notwendigen Schüsse zur Annäherung der Hornhautoberfläche an die Sollfläche. Sollte das Ergebnis nicht zufriedenstellend sein, kann entweder das Oberflächenbehandlungsverfahren geändert werden oder die Sollfläche wird in Ort oder Verlauf variiert. Der Computer erlaubt es, in kürzester Zeit verschiedene Behandlungsverfahren und Sollflächenvorgaben bis zur Anzeige des erzielbaren Ergebnisses zu simulieren, um anschließend am Patienten das optimale Behandlungsverfahren durchzuführen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigt,

Fig. 1 einen Schnitt durch eine Augenhornhaut mit überzeichneter Oberflächendeformation,

Fig. 2 eine Draufsicht auf eine Hornhaut mit ihren unter-

Fig. 3 einen Schnitt durch die Augenhornhaut gemäß Fig. 1 nach einer Laserbehandlung.

Die in Fig. 1 gezeigte Hornhautoberfläche 1 ist mit stark überzeichneten Unebenheiten 2, 3, 4, 5 und 6 dargestellt. Als Beispiel für die Vielzahl an Punkten ist der Punkt 7 dargestellt, dessen Ort mittels der Koordinaten eines Koordinatensystems 8 mit dem beliebig festgelegten Ursprung 9 bestimmbar sind. Somit ergibt sich für jeden Punkt auf der Hornhaut 1 eine Koordinatenangabe, die den Ort des Punktes genau festlegt.

Darüber hinaus ist in Fig. 1 eine erste Sollfläche 10 eingezeichnet, die vom behandelnden Arzt so variiert werden kann, daß Lage und Verlauf den klinischen Anforderungen entsprechen. Durch die Variation entsteht eine zweite Sollfläche 11, die der Arzt nach seiner klinischen Erfahrung relativ zur Augenhornhaut positioniert.

Aus der relativen Lage eines jeden Punktes 7 zur zweiten Sollfläche 11 errechnet der Rechner den Abstand 12 für jeden einzelnen Punkt. Dieser Abstand dient als Grundlage für die spätere Behandlung der Hornhaut 1.

In Fig. 2 sind in einer Draufsicht durch unterschiedliche Schraffuren mögliche Krümmungen einer Augenhornhaut dargestellt. Enge Schraffuren 13, 14, 15 zeigen eine stärkere Krümmung, während hellere Schraffuren 16, 17 eine geringere Krümmung anzeigen. Anstelle von Schraffuren werden in der Praxis vorteilhafterweise Farben eingesetzt.

Alternativ oder ergänzend können statt der Krümmungen auch die Orte der Oberfläche der Augenhornhaut dargestellt werden.

Auch die Abstände 12 zwischen der Augenhornhaut 1 und der zweiten Sollfläche 11 können entsprechend Fig. 2 durch Schraffuren oder Farben dargestellt werden, um Flächen, die besonders stark behandelt werden müssen, hervorzuheben.

Fig. 3 zeigt schematisch die Behandlung einer Hornhautoberfläche gemäß Fig. 1 mit einer Lasereinrichtung. Auf der Grundlage der Abstände zwischen der Hornhaut 1 und der zweiten Sollfläche 11 wurden vom Rechner Ort und Anzahl der Schüsse 18, 19, 20, 21 berechnet. Da die Lasereinrichtung jedoch nur diskontinuierliche Einstellungen ermöglicht, entsteht nach der Behandlung eine Istfläche 18, die der zweiten Sollfläche 11 nur angenähert ist. Um das zu erwartende Ergebnis vor Durchführung der Behandlung zu überprüfen und gegebenenfalls das Behandlungsverfahren noch zu korrigieren, wird die Behandlung zunächst am Rechner simuliert. Erst nach Durchspielen verschiedener Sollflächen und/oder Behandlungsverfahren wird schließlich vom behandelnden Arzt eine Sollfläche und ein Oberflächenbehandlungsverfahren festgelegt, das dem anvisierten Ergebnis am ehesten gerecht wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Daten zur Behandlung einer Oberfläche, insbesondere einer Augenhornhaut (1),
 - bei dem die Orte einer Vielzahl an Punkten (7) der Oberfläche (1) ermittelt werden,
 - diese Orte als Datensatz in einen Rechner eingegeben werden,
 - die Form und Lage einer Sollfläche (10, 11) in den Rechner eingegeben wird,
 - für die Vielzahl an Punkten (7) auf der Oberfläche (1) der Abstand (12) zur Sollfläche (10, 11) errechnet wird und
 - Ort und Abstand (12) der Vielzahl an Punkten

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Orte der Oberfläche (1) der Vielzahl an Punkten (7) iterativ als Koordinaten berechnet werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Orte der Vielzahl an Punkten (7) graphisch dargestellt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Form und/oder Lage der Sollfläche (10, 11) graphisch dargestellt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstände (12) der Vielzahl an Punkten (7) zur Sollfläche (11) graphisch dargestellt werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß unterschiedliche Abstände (12) durch unterschiedliche Farben dargestellt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Form und/oder Lage der Sollfläche (10, 11) variiert ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Form und/oder Lage der Sollfläche (10, 11) durch Raytracing bestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Datensatz zur Behandlung der Oberfläche ein Oberflächenbehandlungsverfahren simuliert wird und das Ergebnis angezeigt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Oberflächenbehandlungsverfahren ein Laserverfahren ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

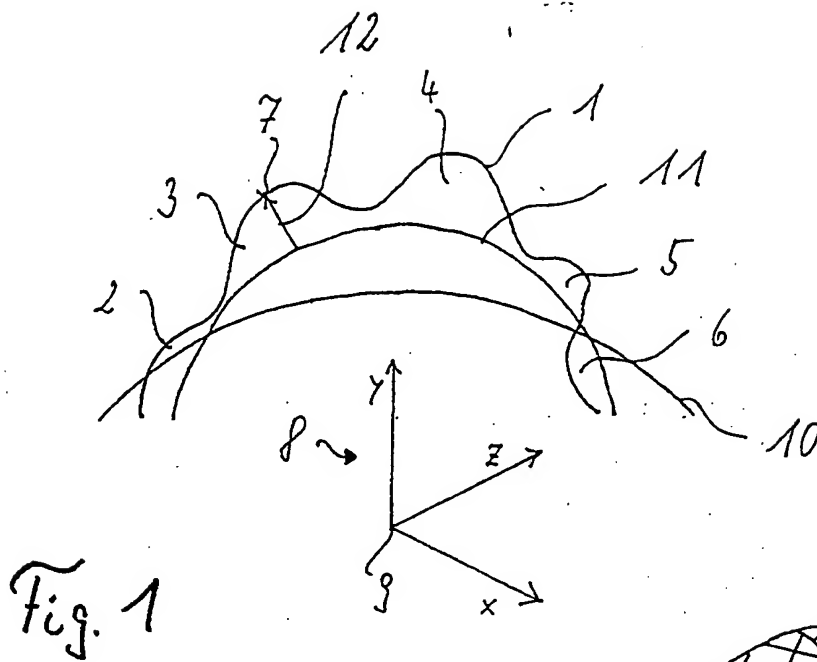
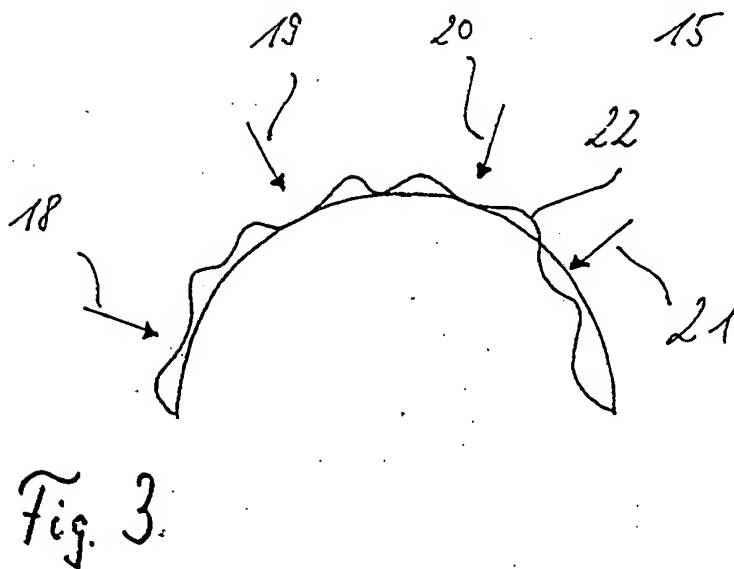
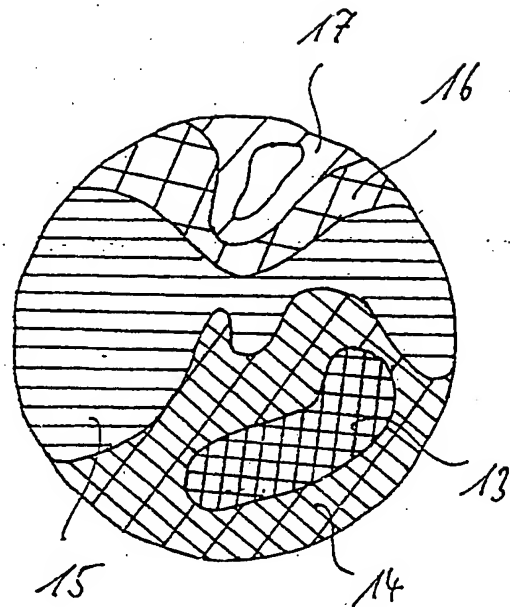


Fig. 2



CERTIFICATION OF TRANSLATION

**Verfahren zur Bestimmung von Daten zur Behandlung einer Oberfläche,
insbesondere einer Augenhornhaut.**

I, Roland Meier, c/o Technisches Fachübersetzungsbüro, Försterweg 33, A-2136
Laa/Thaya, Austria, am the translator of the **documents** attached and **certify** that the
following is a true translation to **the** best of my knowledge and belief.



Signature of translator

dated this 20th day of August 1999

A METHOD FOR DETERMINING DATA FOR TREATING A SURFACE

The invention concerns a method for determining data for treating a surface.

When treating the cornea of an eye, usually the refractive behaviour of the cornea is determined in **order** to subsequently, in most **cases** by means of a **laser** method, **subject** the cornea to **laser** treatment so as to **change** the curvature and thus the refractive behaviour of the cornea. In this it is possible, by means of subjecting the cornea to a few targeted "**exposures**", to **achieve** a **structural change** of the cornea in certain regions or to remove **parts** of the cornea. In particular by radially different intensity of the **laser** treatment, the refractive behaviour of the surface of the cornea is thus **changed**.

It has however been shown that usually the refractive behaviour of the cornea is not uniform across its entire surface and consequently the known procedures **produce** a good result only in the **case** of refractive behaviour distributed at adequate similarity across the cornea. With the known treatment methods, smaller areas of the cornea of particularly high or particularly low curvature are not corrected at all or only inadequately corrected.

It is thus the **object** of the invention to **propose** a method for determining data for treating a surface, in particular a cornea, **which** method makes it possible, by treating locations of various curvature on a surface such as for example a cornea, to reduce such locations.

This object is met in that

the locations of a multiple number of **points** on the surface are determined;

these locations are entered into a Computer as a data record;

the form and shape of a desired surface are entered into the Computer;

for the multiple number of **points** on the surface, the spacing to the desired surface is calculated; and

location and spacing of the multiple number of **points** are output as a data record for treating the surface.

This method according to the invention makes it possible not only to treat the surface as a whole but depending on the resolution, to determine the **position** of **each** individual **point** on the cornea in **order** to subsequently, by comparison with a predetermined desired surface, calculate the positive or negative spacing to the desired surface, and make it available for the **actual** treatment of the surface. In this way, **local** regional peaks **can** be treated more intensively while naturally existing troughs are treated to a lesser extent or not treated at all. The data record **made** available by the method thus makes possible a targeted treatment of even a relatively uneven cornea **which** is to **comprise** a regular curvature **across** its entire area as a result of the subsequent treatment method.

The method is above all suitable for reflective surfaces **because** these **can** be measured easily by means of topometry.

A simple method for determining the locations of a multiple number of **points** on the surface consists of computing the locations of the surface of the multiple number of **points** topometrically in an iterative **manner**, as co-ordinates. An iterative method of computing the co-ordinates of individual locations on a reflective surface is described

i n PCT/DE95/01579, the full extent of which is referred to herewith.

To facilitate work to the treating surgeon, it is advantageous if the locations of the multiple number of points are graphically represented. To do so, e.g. a grid representation is suitable which clearly shows the progression of the corneal shape or the deviation of the shape from a spherical surface.

For better comparison it is advantageous if the shape and/or position of the desired surface too are/is graphically represented. To this effect the same methods can be used, with the surfaces to be represented either side-by side or in their relative arrangement to each other.

A further embodiment of the invention provides for the spacings between the multiple number of points and the desired surface, too, to be graphically represented. This too can be made available to the treating surgeon as graphics in three-dimensional representations, projections or sectional representations.

Particularly easy comprehension of the representation is achieved in that various spacings are represented by different colours. This makes it possible for the treating surgeon to recognise the areas of particularly extensive deviation from the desired curve, without necessitating expensive numeric comparison.

It is advantageous if the shape and/or position of the desired surface can be varied. This makes it possible to determine the desired curve on the computer in comparison with the surface of the cornea on the basis of clinical experience. The deviations, instantly calculated by the

computer between the desired surface and the cornea assist the surgeon in correctly determining the desired surface.

As an alternative, or as a supplement to determining the desired surface according to clinical experience, the desired surface can also be determined by ray tracing. In this, a desired curve for the cornea is calculated on the basis of certain requirements of the course of the beams and in particular their intersection with the retina.

A further embodiment of the invention provides for simulation of a surface treatment method with the data record, for treating the surface and for the result to be displayed. To this effect additionally, the data for a special surface treatment method is entered, after which the computer displays the result achievable with this surface treatment method to the treating surgeon.

If the surface treatment method is for example a laser treatment method, then the data of the change in shape of the cornea caused by a single exposure can be entered into the computer. The computer then calculates the location and number of the necessary exposures for approximating the surface of the cornea to the desired surface. If the result is not satisfactory, either the surface treatment method can be changed, or the location or course of the desired surface is varied. The computer makes it possible within an instant to simulate various treatment methods and desired surface inputs right up to displaying the achievable result, so as to carry out the optimum treatment method on the patient.

Below, one embodiment of the invention is shown in more detail by means of a drawing, as follows:

Fig. 1 is a sectional view of a cornea with exaggerated surface deformation;

Fig 2 is a top view of a cornea with its varying curvature areas; and

Fig 3 is a sectional view of the cornea according to Fig. 1 after laser treatment.

The surface of the cornea 1 shown in Fig. 1 is shown with highly exaggerated irregularities 2, 3, 4, 5 and 6. As an example of the multiple number of points, point 7 is shown, the location of which can be determined by means of the co-ordinates of a co-ordinate system 8 with the randomly determined zero point 9. Thus for each point on the cornea 1 there is a co-ordinate reference which exactly determines the location of the point.

In addition, in Fig. 1 a first desired surface 10 has been drawn in which can be varied to such an extent by the treating surgeon that the location and course match the clinical requirements. The variation gives rise to a second desired surface 11 which is positioned relative to the cornea by the surgeon according to his clinical experience.

From the/relative position of each point 7 to the second desired surface 11, the computer calculates the spacing 12 for each individual point. This spacing serves as a basis for the subsequent treatment of the cornea 1.

Fig. 2 is a top view showing possible curvatures of a cornea, represented by different hatching or crosshatching. Tight hatching 13, 14, 15 indicates a stronger curvature while lighter hatching 16, 17 indicates a lesser curvature. Instead of hatching, the use of colours is advantageous in practical application.

As an alternative to, or supplement to the curvatures, it is also possible to represent the locations of the surface of the cornea.

The spacings 12 between the cornea 1 and the second desired surface 11 can also be represented analogously to Fig. 2 by hatching or colours, so as to highlight areas which require particularly strong treatment.

Fig. 3 is a diagrammatic representation of treatment of the surface of a cornea according to Fig. 1 using a laser device. Based on the spacings between the cornea 1 and the second desired surface 11, the computer calculated the location and number of the exposures 18, 19, 20, 21. However, since the laser device only allows discontinuous settings, after treatment an actual surface 18 results which only approximates the second desired surface 11. At first the treatment is simulated on the computer to verify the result expected from carrying out treatment and if necessary for adjustment of the treatment method. Only after playing through various desired surfaces and or treatment methods does the treating surgeon finally determine a desired surface and a surface treatment method which most closely meet the intended result.

CLAIMS

1. A method to determine data for treating a surface, in which
 - the locations of a multiple number of points (7) of the surface (1) are determined;
 - these locations are entered into a computer as a data record;
 - the shape and position of a desired surface (10, 11) are entered into the computer;
 - for the multiple number of points (7) on the surface (1) the spacing (12) to the desired surface (10, 11) is calculated; and
 - location and spacing (12) of the multiple number of points (7) are output as a data record for treating the surface (1).
2. A method according to claim 1, characterised in that the surface (1) is a reflective surface which is being measured by means of topometry.
3. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the surface (1) is a cornea.
4. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the locations of the surface (1) of the multiple number of points (7) are iteratively calculated as co-ordinates.
5. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the spacings (12) between the

multiple number of points (7) and the desired surface (11) are represented graphically.

6. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the various spacings (12) are represented by different colours.
7. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the shape and/or position of the desired surface (10, 11) are/is variable.
8. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the shape and/or position of the desired surface (10, 11) are/is determined by ray tracing.
9. A method according to one of the preceding claims, characterised in that with the data record for treating the surface a surface treatment method is simulated and the result is displayed.
10. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the surface treatment method is a laser method.

(Amended page)

The invention concerns a method for determining data for adapting a reflective surface to a desired surface.

When treating the cornea of an eye, usually the refractive behaviour of the cornea is determined in order to subsequently, in most cases by means of a laser method, subject the cornea to laser treatment so as to change the curvature and thus the refractive behaviour of the cornea. In this it is possible, by means of subjecting the cornea to a few targeted "exposures", to achieve a structural change of the cornea in certain regions or to remove parts of the cornea. In particular by radially different intensity of the laser treatment, the refractive behaviour of the surface of the cornea is thus changed.

It has however been shown that usually the refractive behaviour of the cornea is not uniform across its entire surface and consequently the known procedures produce a good result only in the case of refractive behaviour distributed at adequate similarity across the cornea. Thus, smaller 'areas of the cornea of particularly high or particularly low curvature are not corrected at all or only inadequately corrected.

From US 4,669,466 A and US 5,384,608 A, methods are known where

the spatial co-ordinates of a multiple number of points on the surface are determined;

these spatial co-ordinates are entered into a computer as a data record;

the form and shape of a desired surface are entered into the computer;

for the multiple number of points on the surface, the spacing to the desired surface is calculated; and

the spatial co-ordinates and the spacings of the multiple number of points is output as a data record for adapting the surface.

These known methods determine a desired surface and try to treat the surface in such a way as to eliminate the differences to the desired surface. It is however problematic that for a surface of any given form it is impossible to unambiguously determine a desired surface. An optimal desired surface can only be determined if the spacings to the surface are known.

It is thus the object of the invention to further develop a generic method to reduce locations of the most varied curvature on a surface, using minimal intervention, in order to achieve a surface curvature suitable for the individual case.

This object is met in that the shape and/or position of the desired **surface** are/is variable.

The invention is based on the recognition that for a surface of any given form it is impossible to unambiguously determine a desired surface. Only by repeated changing of the desired surface and respective determination of the necessary steps, is the surgeon in a position to determine a desired surface which serves as a basis for further treatment.

This method according to the invention makes it possible not only to treat the surface as a whole but depending on the resolution, to determine the position of each individual point on the cornea in order to subsequently, by comparison with a predetermined desired surface, calculate

the positive or negative spacing to the desired surface, and make it available for the actual treatment of the surface. In this way, local regional peaks can be treated more intensively while naturally existing troughs are treated to a lesser extent or not treated at all. The data record made available by the method thus makes possible a targeted treatment of even a relatively uneven cornea which is to comprise a regular curvature across its entire area as a result of the subsequent treatment method.

Since the form and/or position of the desired surface is variable, it is possible to determine the desired surface on the computer in comparison with the surface of the cornea on the basis of clinical experience. The deviations between the desired surface and the cornea, which is calculated in an instant by the computer, assist the surgeon in correctly determining the desired surface.

The method is above all suitable for reflective surfaces because these can be measured easily by means of topometry.

A simple method for determining the locations of a multiple number of points on the surface consists of computing the locations of the surface of the multiple number of points topometrically in an iterative manner, as co-ordinates. An iterative method of computing the co-ordinates of individual locations on a reflective surface is described in PCT/DE95/01579, the full extent of which is referred to herewith.

To facilitate work to the treating surgeon, it is advantageous if the locations of the multiple number of points are graphically represented. To do so, e.g. a grid representation is suitable which clearly shows the progression of the corneal shape or the deviation of the shape from a spherical surface.

For better comparison it is advantageous if the shape and/or position of the desired surface too are/is graphically represented. To this effect the same methods can be used, with the surfaces to be represented either side-by side or in their relative arrangement to each other.

A further embodiment of the invention provides for the spacings between the multiple number of points and the desired surface, too, to be graphically represented. This too can be made available to the treating surgeon as graphics in three-dimensional representations, projections or sectional representations.

Particularly easy comprehension of the representation is achieved in that various spacings are represented by different colours. This makes it possible for the treating surgeon to recognise the areas of particularly extensive deviation from the desired curve, without necessitating expensive numeric comparison.

As an alternative, or as a supplement to determining the desired 'surface according to clinical experience, the desired surface can also be determined by ray tracing. In this, a desired curve for the cornea is calculated on the basis of certain requirements of the course of the beams and in particular their intersection with the retina.

A further embodiment of the invention provides for simulation of a surface treatment method with the data record, for treating the surface and for the result to be displayed. To this effect additionally, the data for a special surface treatment method is entered, after which the computer displays the result achievable with this surface treatment method to the treating surgeon.

If the surface treatment method is for example a laser treatment method, then the data of the change in shape of the cornea caused by a single exposure can be entered into the computer. The computer then calculates the location and number of the necessary exposures for approximating the surface of the cornea to the desired surface. If the result is not satisfactory, either the surface treatment method can be changed, or the location or course of the desired surface is varied. The computer makes it possible within an

CLAIMS

1. A method to determine data for adapting a reflective surface to a desired surface, in which
 - the spatial co-ordinates of a multiple number of points (7) of the surface (1) are determined;
 - these spatial co-ordinates are entered into a computer as a data record;
 - the shape and position of the desired surface (10, 11) is entered into the computer;
 - for the multiple number of points (7) on the surface (1) the spacing (12) to the desired surface (10, 11) is calculated; and
 - the spatial co-ordinates and spacings (12) of the multiple number of points (7) are output as a data record for adjusting the surface (1), characterised in that the shape and/or position of the desired surface (10, 11) are/is variable.
2. A method according to claim 1, characterised in that the surface (1) is a reflective surface which is being measured by means of topometry.
3. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the surface (1) is a cornea.
4. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the spatial co-ordinates of the surface (1) of the multiple number of points (7) are iteratively calculated.

5. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the spacings (12) between the multiple number of points (7) and the desired surface (11) are represented graphically.
6. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the various spacings (12) are represented by different colours.
7. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the shape and/or position of the desired surface (10, 11) are/is determined by ray tracing.
8. A method according to one of the preceding claims, characterised in that with the data record for adapting the surface a surface treatment method is simulated and the result is displayed.
9. A method according to one of the preceding claims, characterised in that the surface treatment method is a laser method.